

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**ВИННИЦЬКИЙ МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 519.2:629.1

**МЕТОД ВЕРИФІКАЦІЇ АЛГОРИТМІВ ОПРАЦЮВАННЯ РАДІОСИГНАЛІВ  
В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2018

Роботу виконано на кафедрі радіотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник кафедри  
радіотехнічних систем  
**Юрченко Олег Миколайович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри біотехнічних систем  
**Хвостівський Микола Орестович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя.

Захист відбудеться 20 лютого 2018 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №25 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9, ауд. 9-612.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Дослідження роботи телекомунікаційних систем (ТС) шляхом верифікації її алгоритмів опрацювання (фільтрація, кореляційна, спектральна та спектрально кореляційна обробки і інші методи опрацювання) радіосигналів (РС) є важливим етапом при проектуванні. Процедура якісної верифікації алгоритмів опрацювання РС в ТС досягається методом імітаційного моделювання.

Відомі методи імітаційного моделювання РС базуються на базі детермінованих та стохастичних математичних моделей. Детерміновані моделі РС авторів Соколової А.В., Борзової А.Б., Сухаревського О.І. та Корнєєва Ю.А. описують поширення РС в геометричних та електричних середовищах із не урахуванням у своїй структурі фактору випадковості, що є притаманним для умов емпіричного дослідження. Стохастичні моделі РС авторів Введенського Б.А., Кловського Д.Д., Галкіна А.П., Фукса І.М., Кларка Р.Х. та Потапова А.А. у вигляді випадкових процесів дають змогу урахувати у своїй структурі фактор випадковості, що є характерним для РС в реальних умовах спостереження.

За результатами пошуку та обробки наукової інформації встановлено, що відомі імітаційні моделі як ядра методів верифікації алгоритмів опрацювання РС не враховують у своїй структурі властивість періодичності у поєднанні із випадковістю.

Тому розробка нового методу верифікації алгоритмів опрацювання РС у ТС на базі адекватної математичної та імітаційної моделі є важливою науковою задачею.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка імітаційної моделі радіосигналів для верифікації алгоритмів їх опрацювання в телекомунікаційних системах. Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Провести огляд відомих математичних та імітаційних моделей радіосигналів з метою вибору напрямку наукового дослідження.
2. Розробити імітаційну модель радіосигналів, яка уможливило врахування у своїй структурі параметри випадковості та періодичності для адекватної верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах
3. Провести процес імітаційного моделювання радіосигналів.
4. Розробити програмне забезпечення для проведення процесу імітаційного моделювання радіосигналів як способу верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах.

**Об'єкт дослідження:** процес верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах шляхом імітаційного моделювання.

**Предмет дослідження:** імітаційна модель радіосигналів.

**Методи дослідження.** Для програмної реалізації імітації радіосигналу застосовано програмне забезпечення MATLAB.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

Вперше розроблено імітаційну модель радіосигналу у вигляді амплітудомодульованих періодично подовжених сум синусоїд з їх експонентційним затуханням визначених часових інтервалах із випадковими амплітудами та їх

тривалостями, яка дає змогу по відомих параметрах моделювати радіосигнали різної структури із високою вірогідністю відтворення реальних радіосигналів для верифікації алгоритмів опрацювання їх в телекомунікаційних системах.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що розроблене комп'ютерне забезпечення, яке реалізовує алгоритм імітаційного моделювання, дає змогу здійснити процедуру верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів у телекомунікаційних системах.

**Апробація.** Викладені в дипломній роботі результати доповідалися і обговорювалися на IV науково-технічній конференції тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології» (м. Тернопіль, 2018р.).

**Структура та обсяг.** Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 110 сторінках, списку використаних джерел з 39 назв на 4 сторінках, додатків на 26 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 140 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі шляхом аналізу та порівняння відомих імітаційних моделей радіосигналів в каналах зв'язу як ядер верифікації алгоритмів опрацювання сигналів в телекомунікаційних системах обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів роботи на конференції.

У першому розділі «Аналіз моделей радіосигналів в телекомунікаційних системах» проаналізовано наукові праці різних авторів, присвячені досліджуваній проблематиці.

Детерміновані моделі радіосигналів, які описують сигнали в геометричних та електричних середовищах, не урахуванням у своїй структурі випадковості, що є притаманним для реальних сигналів. Статистичні моделі радіосигналів у вигляді випадкових процесів дають змогу урахувати у своїй структурі фактор випадковості, що є характерним для реальних сигналів. Остання модель набула найбільшого поширення при побудові алгоритмів роботи радіотехнічних систем. Проте статистична модель радіосигналів не ураховує у своїй структурі поєднання властивостей періодичності, повторюваності його миттєвих значень в часі, із випадковістю, яка зумовлена впливом різного роду завад як внутрішніх та зовнішніх. Тому відомі алгоритми, які реалізовані на статистичній моделі, не в повній мірі є коректними в роботі.

Отже, розроблення моделі радіосигналів і на її основі імітаційної моделі, яка уможливила урахування у своїй структурі параметри періодичності і випадковості для адекватної верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів у телекомунікаційних системах актуальною науковою задачею.

У другому розділі «Математична модель радіосигналу» обґрунтовано структуру математичної моделі радіосигналу у вигляді адитивної суміші корисного амплітудно-модульованого радіосигналу (без спотворення) та завади типу білого

гаусівського шуму для задачі верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів у телекомунікаційних системах.

У третьому розділі «Метод верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах» розроблено метод верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів у телекомунікаційних системах шляхом розроблення імітаційну модель радіосигналу у каналах зв'язу як ядра верифікації.

Імітаційну модель радіосигналу в межах періоду подано у вигляді синусоїди з експонентційним затуханням на визначених часових інтервалах, що дає змогу по відомих параметрах моделювати радіосигнали з високою точністю їх відтворення для верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів у телекомунікаційних системах.

У четвертому розділі «Експериментальне дослідження методу верифікації алгоритмів роботи в середовищі MATLAB» розроблено блок-схему та програмне забезпечення Matlab для імітування радіосигналів. Розроблена програма дає змогу змодельовати РС із зрізними морфологічними параметрами (рис.1-2).

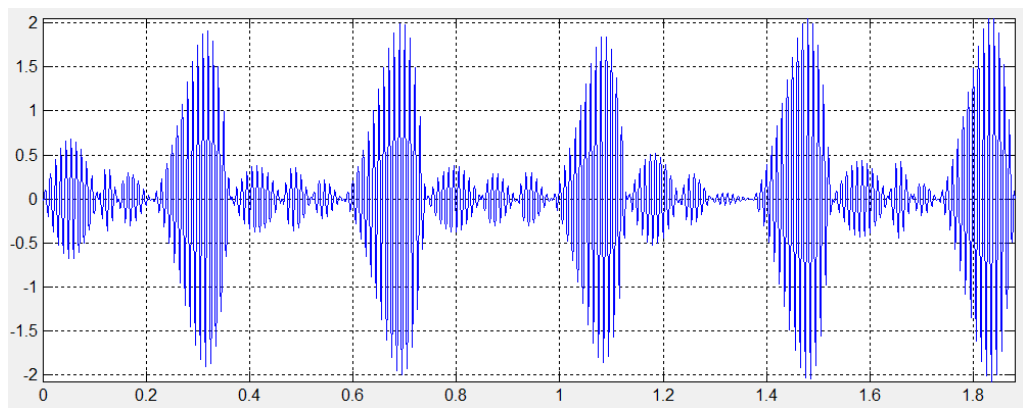


Рис. 1. АМ-імітований РС при 5 періодах та без шуму

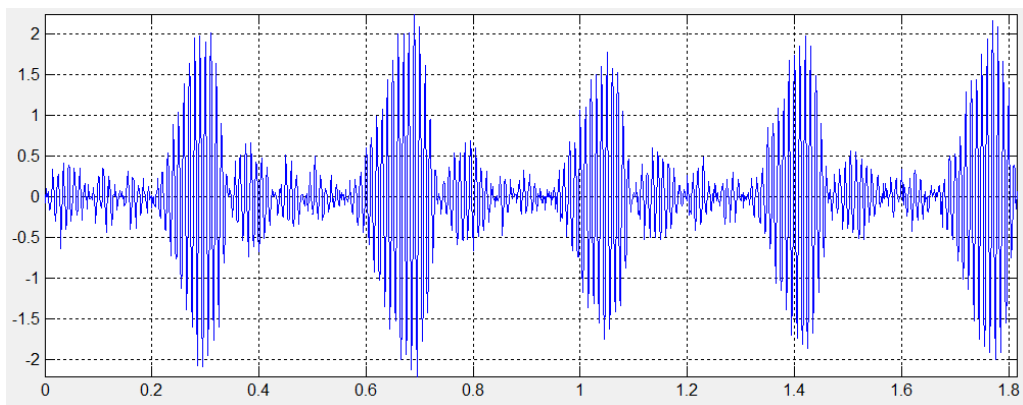


Рис. 2. АМ-імітований РС при 5 періодах та дисперсії шуму  $0,1\text{мВ}^2$

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» описано програму MATLAB як програмне середовище для проведення експериментальних досліджень.

У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить **40670,89** грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюються

експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає **0,71** від максимального числа **1**, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

**У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** зі сторони охорони праці сформульовані рекомендації по охорони праці з питань електробезпеки обслуговуючого персоналу при експлуатації телекомунікаційної системи, буде забезпечено безпечні умови праці при її експлуатації і тим самим мінімізовано ризик ушкодження персоналу електричним струмом, а також описано способи оцінки умов праці на виробництві. Зі сторони безпеки в надзвичайних ситуаціях описано заходи особистої безпеки персоналу цехів, лабораторії по виготовленню телекомунікаційної системи та описано заходи з підвищення стійкості роботи об'єктів зв'язку, радіомовлення і телебачення.

**У восьмому розділі «Екологія»** встановлено, що при проведенні виробничих процесів монтажу і складання телекомунікаційної системи застосовано технологічні методи і засоби, які створюють мінімальний вплив на навколишнє середовище.

**У додатках** наведено тексти програм, розроблені для ПК (ОС Windows).

## **ВИСНОВКИ**

У дипломній роботі магістра розв'язано актуальну наукову задачу розроблення методу верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів у телекомунікаційних системах на базі адекватної математичної та імітаційної моделі. При цьому отримано такі результати:

1. У результаті проведеного порівняльного аналізу відомих імітаційних моделей радіосигналів сформульовано основні вимоги до моделі: врахування випадковості та періодичності сигналу для задач вірогідної верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів у телекомунікаційних системах

2. Розроблено імітаційну модель радіосигналів, яка уможливорює врахування у своїй структурі параметри випадковості та періодичності для адекватної верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах.

3. Встановлено, що отримані імітовані реалізації радіосигналів забезпечують повне відтворення форми експериментальних радіосигналів за часовими та амплітудними параметрами, що підтверджує факт вірогідності імітування та адекватності верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах.

Розроблено програмне забезпечення для проведення процесу імітаційного моделювання радіосигналів як способу верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Винницький М. Метод верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах / С Лакоцький, М.Винницький, Л.Хвостівська // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 1 – 2 лютого 2018 р.). – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – С.5.

## АНОТАЦІЯ

Винницький Михайло Володимирович. Метод верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Дипломну роботу присвячено розробленню методу верифікації алгоритмів опрацювання радіосигналів в телекомунікаційних системах на базі комп'ютерного імітаційного моделювання радіосигналів. У роботі вперше розроблено імітаційну модель радіосигналу в межах одного періоду у вигляді амплітудо-модульованої суми продовжених по часовій осі хвиль радіосигналу, а із врахуванням періодичності – у вигляді амплітудо-модульованої суми продовжених по всій часовій осі  $k$ -их періодів радіосигналів.

Розроблена модель дає змогу по відомих параметрах моделювати радіосигнали із високою вірогідністю відтворення і врахуванням у собі поєднання властивостей повторності із випадковості.

Ключові слова: радіосигнал, модуляція, математична модель, імітаційна модель, моделювання, верифікація, телекомунікаційна система.

## ANNOTATION

Vunutskyi Mykhailo. Method of verification of algorithms for processing radio signals in telecommunication systems. - Manuscript.

Master's diplom work on specialty 172 "Telecommunication and Radio Engineering", Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2018.

The diplom work is devoted to the development of a method for verification of algorithms for processing radio signals in telecommunication systems based on computer simulation of radio signals. In the work, for the first time, an imitation model of a radio signal was developed within a single period in the form of an amplitude-modulated sum of the extended time axis of the wave signals of the radio signal, and, taking into account periodicity, in the form of amplitude-modulated sum of the radio signals continued throughout the time axis of  $k$ -th periods.

The developed model enables to simulate radio signals with high probability of reproduction according to known parameters and taking into account a combination of reciprocity properties from randomness.

Keywords: radio signal, modulation, mathematical model, simulation model, modeling, verification, telecommunication system.